ownload from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentru

Das Chlorophyllkorn als Reduktionsorgan

Von

Hans Molisch

w. M. Akad.

Aus dem Pflanzenphysiologischen Institut der Universität Wien Nr. 125 der zweiten Folge

(Mit 1 Tafel)

(Vorgelegt in der Sitzung am 10. Oktober 1918)

I. Einleitung.

Das lebende Chlorophyllkorn stellt eines der merkwürdigsten chemischen Laboratorien dar. Nur hier vollzieht sich bekanntlich — abgesehen von einigen Ausnahmen — in der Natur die Produktion organischer Substanz: aus Kohlensäure und Wasser entsteht unter Mitwirkung des grünen Farbstoffes, des Chlorophyllplasmas und des Lichtes organische Substanz, und zwar als erstes mikrochemisch nachweisbares Produkt gewöhnlich Stärke. Sie ist der Ausgangspunkt aller anderen organischen Stoffe sowohl der Pflanze als auch der Tiere und des Menschen.

Darüber, daß im Chlorophyllkorn und nur hier im Lichte die Kohlensäure reduziert wird, ist man völlig einig; aber auffallenderweise hat man sich bisher fast gar nicht bemüht, nachzuweisen, ob speziell das Chlorophyllkorn reduzierende Eigenschaften besitzt, ob diese mit unseren heutigen Mitteln lokal nachgewiesen werden können und welcher Art sie sind. Daß reduzierende Mittel dem Chlorophyllkorn eigen sein müssen, kann von vornherein kaum bezweifelt werden.

Von solchen Erwägungen ausgehend, suchte ich mikrochemisch reduzierende Eigenschaften des Chloro-

ownload from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentru

phyllkorns zu erkennen und lenkte nach verschiedenen tastenden Vorversuchen mit Metallsalzen meine Aufmerksamkeit insbesondere auf Silbersalze, auf diese deshalb, weil sie in der Histologie der Tiere bisher zu ausgezeichneten Ergebnissen und höchst wertvollen Entdeckungen geführt haben.[1] Eigentlich muß man sich wundern, daß die Botaniker, abgesehen von Ausnahmen, mit Rücksicht auf die auffallenden Resultate, die mit der Metallimprägnierung in der Tierhistologie gemacht wurden, sich diese bislang so wenig für ihre Zwecke zunutze gemacht haben.

Wenn nichts Besonderes bemerkt wird, so behandelte ich meine lebenden Objekte oder Schnitte mit einer wässerigen $^1/_4$- bis 1prozentigen, zumeist aber mit einer einprozentigen Lösung von salpetersaurem Silber. Ähnliche Resultate erhielt ich auch mit einer ebenso konzentrierten Lösung von Silbersulfat und mit milchsaurem Silber.

II. Die Reduktion von Silbersalzen durch die Chlorophyllkörper.

a) Die reduzierenden Zacken des Chlorophyllbandes in Spirogyra.

Der Chlorophyllkörper der Alge *Spirogyra* stellt bekanntlich ein mehrfach gewundenes Schraubenband dar, das sich durch bedeutende Größe und eine relativ hohe Organisation auszeichnet, denn es enthält zahlreiche Pyrenoide, um die sich nach lebhafter Assimilation die Stärke in den sogenannten Amylumherden anhäuft. Ist die *Spirogyra* frisch gesammelt und gesund, so erscheint der Rand des Chlorophyllbandes bei vielen Spezies beiderseits mit zitzen- oder warzenförmigen Auszackungen versehen, die im folgenden kurz als Zacken bezeichnet werden sollen. (Fig. 1, *a*, *z*.)

Es ist nun höchst interessant, wie sich dieser hochorganisierte Chlorophyllkörper, der sich auch schon wegen seiner

[1] Enzyklopädie der mikroskopischen Technik etc., I. Bd., 1903. Siehe Goldmethoden, p. 446, und Silbermethoden, p. 1255

ownload from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentru

Größe für solche Untersuchungen ausgezeichnet eignet, gegenüber dem Silbersalpeter verhält.

Werden frisch gesammelte, mit den erwähnten Zacken versehene *Spirogyra*-Fäden auf dem Objektträger mit einem Tropfen einprozentiger salpetersaurer Silberlösung behandelt, mit einem Deckglas bedeckt und im Finstern belassen, so beginnen sich schon nach einigen Minuten die Zacken des Bandes zu schwärzen; der ganze übrige Chlorophyllkörper aber, einschließlich der Amylumherde und Pyrenoide, bleibt zunächst ungeschwärzt. Daher erscheint jetzt das Chlorophyllband beiderseits von einer in einer Schraubenlinie verlaufenden Reihe von kohlschwarzen Punkten umsäumt. (Fig. 1, *b*, *z'*.)

Der ganze Vorgang spielt sich, wie bereits erwähnt, sehr rasch ab. Die beginnende Bräunung oder Schwärzung tritt oft schon nach $^1/_2$ Minute ein und kann sich innerhalb $^1/_2$ bis 1 Stunde bis zur vollkommenen Schwärzung der Zacken gesteigert haben.

Ungemein saubere Dauerpräparate erhält man, wenn man, sobald die Schwärzung der Zacken im Finstern eingetreten ist, die *Spirogyra*-Fäden in destilliertes Wasser überträgt, hier etwa $^1/_4$ Stunde im Finstern liegen läßt, um das überschüssige, noch unzersetzte Silbernitrat wegzuschaffen, in ein Tröpfchen Wasser auf dem Objektträger überführt, das Wasser durch Glyzerin ersetzt, schließlich in der von mir seinerzeit angegebenen Weise[1] dauernd verschließt und im Finstern aufbewahrt.

Aus der zunächst bloß in den Zacken auftretenden Schwärzung müssen wir schließen, daß in dem Chlorophyllband von *Spirogyra*, und zwar streng lokal vorzugsweise in den Zacken desselben ein Körper vorhanden ist, der salpetersaures Silber energisch zu reduzieren vermag, ein deutlicher Beweis für die weitgehende Organisation eines Chlorophyllkörpers im Pflanzenreiche. Man hat mit Recht die außerordentliche Kompliziertheit der Einrichtung der einfachen Zelle hervor-

[1] Molisch H., Mikrochemie der Pflanze, Jena 1913, p. 20 bis 21.

ownload from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentru

gehoben, aber diese hohe Organisation wird erst ins rechte Licht gestellt, wenn beim Fortschreiten der Wissenschaft immer deutlicher wird, daß sogar die einzelnen Organe der Zelle, wie der Zellkern und in unserem Falle der *Spirogyra*-Chromatophor, nicht bloß keinen gleichmäßigen Bau, sondern auch eine chemische Arbeitsteilung innerhalb ihrer Teile aufweisen.

Unterbricht man die Einwirkung des Silbersalzes im richtigen Zeitpunkte, so erscheinen nur die Zacken des Chlorophyllbandes geschwärzt, sein übriger Teil aber bleibt vorläufig grün; fortgesetztes Verweilen in dem Silbernitrat kann auch schließlich den ganzen Chlorophyllkörper bräunen oder schwärzen.

Bei Einwirkung des Silbersalzes kann insbesondere im Lichte auch das Plasma und der Zellsaft, ja sogar auch die Zellwand eine bräunliche oder schwärzliche Farbe annehmen. Wahrscheinlich ist es hauptsächlich der Gerbstoff des Zellinhalts, der hier an der Bräunung oder Schwärzung der Zelle beteiligt ist und der nach Wisselingh[1] dem Gallusgerbstoff oder Tannin sehr ähnelt. Auffallend ist die mitunter rasche und intensive Schwärzung, die die Querwände der *Spirogyra*-Fäden aufweisen, doch verhalten sie sich keineswegs gleich, sondern manche schwärzen sich, manche aber gar nicht.

b) Andere Algen.

Zygnema sp. Der doppelsternartige Chromatophor zeigt, mit salpetersaurem Silber behandelt, alsbald eine Bräunung, beziehungsweise eine Schwärzung, und zwar sieht man auch hier, daß bestimmte, um die Pyrenoide liegende Teile im Chlorophyllkörper sich zunächst und sehr stark färben, während die vom Chromatophor ausgehenden plasmatischen Strahlen sich später und weniger schwärzen. Schließlich bräunt sich auch das Plasma und die Gerbstoffbläschen

[1] Wisselingh C. van, Über den Nachweis des Gerbstoffes in der Pflanze und über seine physiologische Bedeutung. Beihefte z. Botan. Zbl., Bd. 32 (1914), Abt. I, p. 155 bis 215.

ownload from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentru

schwärzen sich. Trotzdem hebt sich der Chromatophor durch seine kohlige Farbe von der Umgebung ab.

Penium digitus. Der vielflügelige, im Querschnitt sternförmige Chromatophor verhält sich ähnlich wie der von *Spirogyra*. Es schwärzen sich ausschließlich die kleinen randständigen Läppchen des Chlorophyllkörpers. Von der Fläche gesehen, stehen sie in mehreren, durch die schwarze Farbe hervorstechenden, die beiden Enden der Zelle verbindenden Reihen.

Betrachtet man die lebende Alge im Wasser, so sieht man von den Läppchen nichts oder fast nichts, durch die lokale Silberabscheidung werden sie aber außerordentlich deutlich.

Closterium sp. verhält sich ähnlich wie *Penium*. Jede Zelle besitzt zwei Chromatophoren, die in der Mitte der Zelle an den Zellkern stoßen und nach außen gerippt sind. Diese vorspringenden Riefen des Chlorophyllkörpers schwärzen sich sehr rasch und so deutlich, daß sie in der Längsansicht als dunkle Streifen erscheinen, die sich dadurch von dem übrigen Teil des Chromatophors scharf abheben.

Cladophora sp. zeigt ziemlich rasche und starke Bräunung der Chlorophyllkörner, *Vaucheria terrestris* nur sehr schwache.

Hingegen tritt keine Schwärzung mit Silbernitrat ein bei den Algen: *Oedogonium* sp., *Mikrospora floccosa*, *Raphidium* sp., *Pediastrum*, *Scenedesmus*, *Draparnaldia glomerata*, *Gymnozyga Brebissonii*.

Desgleichen blieb die Silberabscheidung der Chromatophoren aus bei den untersuchten Diatomeen (*Surirella*, *Pinnularia*, *Gomphonema*, *Pleurosigma*), verschiedenen Blaualgen (*Nostoc*, *Chroococcus*, *Oscillaria* etc.) und bei *Hydrurus foetidus*.

c) Gefäßpflanzen.

Es soll nun an einigen Beispielen auseinandergesetzt werden, wie die Phanerogamen gegenüber dem Silbernitrat reagieren, weil hier die Verhältnisse besonders

ownload from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentru

deutlich zutage treten. Moose und Farne verhalten sich im wesentlichen gleich, wenn auch die Reaktion nicht immer so rasch und deutlich auftritt wie bei den Blütenpflanzen.

Aucuba japonica. Werden Flächenschnitte in eine einprozentige Lösung von salpetersaurem Silber gelegt, so färben sich zunächst die schwach grüngefärbten und wenig deutlich sichtbaren Chlorophyllkörner der Oberhautzellen sehr rasch braun und schließlich kohlschwarz, und zwar so intensiv, daß sie nunmehr ungemein scharf hervortreten. (Fig. 2, *a*.) Dies kann sich innerhalb einer Viertelstunde oder in noch kürzerer Zeit vollziehen. So wie die Chlorophyllkörner der gewöhnlichen Oberhautzellen verhalten sich auch die der Schließzellen. (Fig. 2, *b*.)

Alsbald färben sich die viel größeren Chlorophyllkörner der Mesophyllzellen, jedoch nur die lebenden. (Fig. 2, *c*.) Die anderen, die durch den Schnitt oder sonstwie stark alteriert worden sind, bleiben grün und zeigen auch nicht eine Spur einer Silberabscheidung. (Fig. 2, *d*.)

An solchen Präparaten ist, da tote und lebende Zellen nebeneinander liegen, deutlich zu sehen, daß der Tod in den Chromatophoren eine plötzliche, chemische Änderung hervorruft, die den Chromatophor der Fähigkeit beraubt, Silber[1] abzuscheiden.

Wie streng lokal die Silberabscheidung innerhalb des Chromatophors auf das plasmatische Stroma beschränkt ist, zeigt sich deutlich, wenn man die Silberreaktion mit Chlorophyllkörnern durchführt, die autochthone Stärke enthalten. Solche Chlorophyllkörner lassen ihr Plasma schwarz, die darin eingebetteten Stärkekörnchen aber farblos erscheinen. (Fig. 3, *s*.)

Daß nur das Stroma des Chlorophyllkorns und nicht auch das Stärkekorn die Schwärzung hervorruft, läßt sich besonders bei jenen Chloroplasten veranschaulichen, die hauptsächlich in den Blattstielen und in den Stengeln an-

[1] Wenn in dieser Abhandlung von Silberabscheidung die Rede ist, so bleibt vorläufig die Frage offen, ob die Schwärzung tatsächlich durch feinverteiltes metallisches Silber oder durch Silberoxyd hervorgerufen wird. Diese Frage habe ich vorläufig nicht untersucht.

ownload from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentru

getroffen werden und die durch Aufnahme gelöster Kohlehydrate in ihrem Innern große Stärkekörner erzeugen. Je größer das Stärkekorn in solchen Chloroplasten wird, desto geringer an Volumen wird verhältnismäßig das Stroma; schließlich sitzt dieses nur mehr als schwer erkennbares Pünktchen dem Stärkekorn auf. Durch die Silberreaktion gelingt es aber sehr leicht, das bißchen, dem Stärkekorn anhängende Stroma sichtbar zu machen. (Fig. 5, *c*.)

Sambucus nigra verhält sich ähnlich wie *Aucuba*. Auch hier finden sich zahlreiche blaßgefärbte Chlorophyllkörper in der Epidermis, die rapid ganz lokal Silber abscheiden und sich dabei schwärzen. Dasselbe zeigen die Chlorophyllkörner der Schließzellen der Spaltöffnungen und die Mesophyllzellen. (Fig. 4.) Zellkern, Plasma und Zellmembran sind, wenn die Chlorophyllkörner schon kohlschwarz geworden sind, noch ganz farblos, später kann sich auch im Zellinhalt die Silberabscheidung einstellen, immer aber stechen die Chromatophoren durch ihre tiefschwarze Farbe hervor.

Bekanntlich hat Stöhr[1], der älteren Auffassung entgegen, gezeigt, daß die Epidermis grüner Organe der breitblättrigen Gymnospermen und weitaus der meisten Land-Dikotyledonen Chlorophyllkörner führt. Daß man diese ziemlich auffallende Tatsache so lange übersehen konnte, liegt in der Kleinheit und zu wenig intensiven Färbung dieser Chlorophyllkörner. Durch die Einwirkung des Silbernitrates können sie, wie ich mich an Blättern von mehr als 100 dikotylen Arten überzeugt habe, ungemein deutlich gemacht werden, ja die Silberreduktion kann zu ihrer leichteren Auffindung wärmstens empfohlen werden.

Die lokale reduzierende Wirkung der Chlorophyllkörner tritt auch in den Schließzellen der Spaltöffnungen scharf hervor. Es ist dies deutlich zu sehen bei *Scilla bifolia, Galanthus nivalis, Gagea lutea, Hyazinthus orientalis, Hedera helix, Cyclamen europaeum, Citrus aurantium, Bellis perennis, Polygonum bistorta, Viola odorata, Asarum europaeum, Prunus*

[1] Stöhr A., Über das Vorkommen von Chlorophyll in der Epidermis der Phanerogamen-Laubblätter. Sitzber. d. Akad. d. Wiss. in Wien, I. Abt., 79. Bd. (1879).

ownload from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentru

padus, Daphne laureola, Syringa vulgaris, Ranunculus ficaria, Linaria cymbalaria u. a.

Die Abscheidung von Silber in den Chlorophyllkörnern der Phanerogamen im Finstern ist eine, soweit ich an etwa 200, den verschiedensten Familien entnommenen Beispielen ersehen habe, eine allgemeine Erscheinung; es finden sich höchstens stufenartige Unterschiede, daher sehe ich von einer Aufzählung einzelner Arten ab.

Die untersuchten Orchideen *Cyrtochilum bictonieuse, Sarcanthus rostratus, Coelogyne cristata, Cypripedium* sp. und *Acampe papillosa* zeigten in den Chlorophyllkörnern ein relativ schwaches Reduktionsvermögen und *Haemaria discolor* ein sehr schwaches.

III. Über die vermeintlichen Ursachen der Silberabscheidung.

Der Leser wird bereits bemerkt haben, daß meine eben geschilderten Beobachtungen in gewisser Beziehung an die schon vor 36 Jahren veröffentlichten Versuche von Loew und Bokorny[1] über die silberreduzierende Fähigkeit des lebenden Protoplasmas erinnern.

Diese beiden Forscher haben die interessante Tatsache festgestellt, daß das lebende Plasma der meisten Pflanzen imstande ist, eine sehr verdünnte alkalische Silberlösung zu reduzieren, während in verschiedener Weise abgetötete Plasmen dieses Vermögen nicht mehr besitzen. Hiermit haben sie eine in vielen Fällen brauchbare Reaktion aufgefunden, um lebendes vom toten Protoplasma zu unterscheiden.

Sie haben auch bereits festgestellt, daß dieser Lebensreaktion keine allgemeine Gültigkeit zukommt, da sie bei verschiedenen Pflanzen versagt, z. B. bei verschiedenen Algen: *Sphaeroplea annulina, Oedogonium, Oscillaria, Nostoc, Batra-*

[1] Loew O. und Bokorny Th., Die chemische Kraftquelle im Protoplasma. München 1882.

Vgl. ferner: Loew O., Die chemische Energie der lebenden Zellen. München 1899.

ownload from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentru

chospermum, ferner bei Schimmelpilzsporen, Sproßhefen und Spaltpilzen.

Loew und Bokorny haben die Meinung zu begründen versucht, daß das Plasma aus organisiertem wässerigen Eiweiß besteht und die sonst darin vorkommenden Stoffe nur als mehr oder minder wichtige Beimengungen betrachtet werden müssen. Loew nennt das lebende Eiweiß aktives, das tote passives.

Um den außerordentlich labilen Charakter der lebenden Substanz zu erklären, nimmt Loew die Anwesenheit zahlreicher, durch ihre intensive Atombewegung ausgezeichnete Aldehydgruppen im Plasma an und erblickt in diesem auch die Urquelle der »lebendigen« Bewegung im Protoplasma.[1]

Gegen die recht weitgehenden Schlußfolgerungen, die Loew und Bokorny aus der Silberreduktion des Protoplasmas gezogen haben, haben sich bekanntlich Pfeffer[2] und seine Schule ganz ablehnend verhalten und auch die Mehrzahl der Pflanzenphysiologen hat die Hypothese vom lebenden Eiweiß und den darin wirksamen Aldehydgruppen wegen mangelhafter tatsächlicher Begründung abgewiesen.

Was nun das verschiedene Verhalten des lebenden und toten Plasmas gegenüber verdünnter alkalischer Silberlösung anbelangt, so kann ich die Tatsache, daß gewöhnlich nur lebendes Plasma reduzierend wirkt, bestätigen. Loew und Bokorny haben ihr Hauptaugenmerk auf das Plasma gelenkt und das Verhalten der Chlorophyllkörner entweder gar nicht oder nur nebenbei erwähnt.

Die beiden genannten Gelehrten verwendeten, um die Silberreduktion zu zeigen, zweierlei Silberlösungen, *A* und *B*.

Lösung *A* ist eine mit Kali versetzte ammoniakalische Silberlösung, welche hergestellt wird, indem man 1. 13 cm^3 Kalilösung von 1·33 spez. Gew. mit 10 cm^3 Ammoniakliquor von 0·96 spez. Gew. mischt und auf 100 cm^3 verdünnt; und 2. eine Lösung von 1 % Silbernitrat bereitet. Von beiden

[1] Loew O. und Bokorny Th., l. c., p. 7.

[2] Pfeffer W., Loew und Bokorny's Silberreduktion in Pflanzenzellen. Flora. N. Reihe 47, Jg. 1889, p. 46.

ownload from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentru

Lösungen mischt man vor dem Gebrauch je 1 cm^3 und verdünnt diese Mischung auf 1 l.

Lösung B ist eine wässerige Lösung von Silberoxyd und wird bereitet, indem man auf 1 l einer Lösung von $\frac{1}{100.000}$ $AgNO_3$ 5—10 cm^3 gesättigtes Kalkwasser setzt. Kohlensäurehaltige Luft ist hier während der Reaktion sorgfältig abzuhalten.

Die Ergebnisse, die Loew und Bokorny mit diesen beiden Lösungen bei Chlorophyllkörpern erhielten, ersehen wir aus folgendem. Auf p. 52 der zitierten Schrift heißt es: »Die in den Spirogyrenzellen hervorgerufene Silberreaktion läßt verschiedene Abstufungen erkennen: Das Plasma vieler Zellen ist tiefschwarz, die Chlorophyllbänder sind wegen der starken Metallabscheidung nicht mehr zu unterscheiden und keine Stelle des Plasmas ist von der Reaktion frei geblieben. Andere Zellen haben die Chlorophyllbänder frei von Metallabscheidung, im übrigen eine gleichmäßige Schwärzung. Die Fig. 2, auf die die Verfasser verweisen, zeigt den Inhalt der ganzen Zelle kohlschwarz, die Chlorophyllkörper aber rein grün. So verhielt sich *Spirogyra* in der ammoniakalischen, mit Kali versetzten Silberlösung A.

Dagegen findet sich auf p. 54 desselben Buches der Satz: »Einen etwas anderen Erfolg als den oben beschriebenen hat eine Silberlösung, welche durch Kalkhydrat alkalisch gemacht wurde (Lösung B). In diesem Falle tritt die Reaktion viel gleichmäßiger durch die ganze Zelle auf und außerdem kann man hier häufig die Chlorophyllbänder, welche mit einer durch Kali alkalisch gemachten Silberlösung oft farblos bleiben, schön geschwärzt sehen. (Siehe Fig. 3 der Tafel.)«

Aus diesen Sätzen geht hervor, daß die beiden Verfasser bezüglich der Chlorophyllkörper ganz verschiedene Resultate erhielten, je nachdem sie mit der Silberlösung A oder B arbeiteten. Eine genauere Betrachtung der anderen auf Taf. 1 und 2 befindlichen Figuren des erwähnten Loew-Bokorny'schen Werkes läßt nicht auf eine besondere reduzierende Kraft des

ownload from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentru

Chlorophyllkörpers, sondern eher auf ein vom Plasma wesentlich verschiedenes Verhalten schließen.

Es läßt sich also aus diesen Beobachtungen für die Chlorophyllkörper in ihrem Verhalten gegenüber Silbersalzen eigentlich nichts Bestimmtes ableiten. Auch blieb den beiden Autoren die Tatsache, daß in den lebenden Zacken des *Spirogyra*-Chlorophyllbandes die reduzierende Substanz lokalisiert ist, ganz verborgen.

Mit der von mir angewendeten einprozentigen Silbernitratlösung erhält man ganz eindeutige und prägnante Ergebnisse, die beweisen, daß in den lebenden Chlorophyllkörnern der meisten Pflanzen ein Körper vorkommt, der Silberlösungen rasch, häufig rapid, zu Silberoxyd oder Silber zu reduzieren vermag.

Dieser Reduktor ist sicherlich kein direktes Produkt der Kohlensäure-Assimilation, denn wenn man Pflanzen monatelang verdunkelt, so zeigen die Chlorophyllkörner noch immer die Schwärzung mit Silbernitrat. *Aucuba japonica* und *Aspidistra elatior* wurden durch 4 Monate in vollständiger Finsternis gehalten und zeigten nach dieser langen Verfinsterung noch immer die reduzierende Kraft der Chlorophyllkörner gegenüber der Silberlösung.

In Anbetracht der überaus weiten Verbreitung eines Reduktors in einem Organ, das die Kohlensäure-Assimilation besorgt, könnte man auf die Vermutung kommen, daß vielleicht der die Kohlensäure reduzierende und der Silber abscheidende Körper ein- und derselbe sei oder mit der Kohlensäure-Assimilation in näherer Beziehung stehe. In der Tat könnte man für diese Vermutung einiges geltend machen. Die Kohlensäurereduktion findet ebenso wie die Sauerstoffentbindung streng lokal nur im Chlorophyllkorn statt und desgleichen ist, wenn man von anderen, in der Zelle befindlichen reduzierenden Stoffen absieht, auch die Silberreduktion auf die Chlorophyllkörner streng lokal beschränkt. Wird das Chlorophyllkorn getötet, so geht das Vermögen, Kohlensäure zu reduzieren ebenso verloren wie die Fähigkeit, Silber abzuscheiden. Dieser auffallende Parallelismus der beiden erwähnten Eigenschaften scheint zugunsten der geäußerten

ownload from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentru

Vermutung zu sprechen, aber etwas Bestimmtes läßt sich darüber nicht aussagen, da der Reduktor beim Absterben des Chlorophyllkorns sich rasch verändert. Er ist also wegen seiner erstaunlichen Labilität unversehrt gar nicht makrochemisch zu packen und zu untersuchen.

Dazu kommt, daß gewisse Tatsachen sich mit der Annahme einer Identität zwischen Kohlensäure- und Silberreduktor nicht leicht vertragen. So gibt es eine Reihe von niederen Pflanzen, die, obwohl sie Chlorophyll enthalten, Silbernitrat doch nicht reduzieren. Es gehören hieher die bereits auf p. 5 namhaft gemachten Blaualgen, Diatomeen und mehrere Grünalgen. Vielleicht haben diese Algen einen anderen Reduktor, der aber speziell nicht auf die Silbersalze wirkt. Oder es werden diese Algen, in die schon wegen ihrer Kleinheit das Silbersalz rapid eindringt, so rasch getötet, daß der Reduktor augenblicklich zerstört wird, so daß er seine reduzierende Kraft nicht mehr ausführen kann

Wie bereits bemerkt (p. 8—9), fanden auch Loew und Bokorny Fälle, wo eine Reduktion von alkalischen Silberlösungen durch das Protoplasma unterblieb, z. B. bei *Sphaeroplea*, *Oscillaria*, *Nostoc* u. a., und sie meinen, daß bei diesen Pflanzen infolge besonders hochgradiger Sensibilität gegenüber alkalischer Silberlösung der Tod sofort eintritt und daß aus diesem Grunde die Schwärzung unterbleibt. Die Richtigkeit dieser Erklärung zugegeben, würden die angeführten Ausnahmen nur scheinbare sein und bloß in der außerordentlichen Empfindlichkeit des Plasmas ihren Grund haben.

Nach Loew und Bokorny reduziert nur das lebende Plasma verdünnte alkalische Silberlösungen und nach meinen Untersuchungen gilt für die Reduktion der Silbernitratlösung durch Chlorophyllkörner dasselbe. Ob der Tod dieser durch Anschneiden der Zellen, durch Druck, durch ein Gift, durch Austrocknen oder höhere Temperatur erfolgt, stets bleibt bei getöteten Chlorophyllkörnern die Schwärzung entweder schon unmittelbar oder ganz kurz nach dem Tode aus.

Wenn nach längerem, tagelangem Liegen chlorophyllhältiger Zellen im Lichte, z. B. im starken Sonnenlichte,

ownload from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentru

dennoch eine Schwärzung des Chlorophyllapparates eintritt, so kann dies von postmortal entstandenen Formaldehyd herrühren. Dieser leitet sich aber nicht vom Chlorophyllfarbstoff ab, der sich nach den Angaben von Warner,[1] Wager[2] und Ewart[3] außerhalb der Zelle im Lichte unter Bildung von Formaldehyd zersetzen soll, sondern rührt nach den Untersuchungen von Willstätter und Stoll[4] mit reinen Chlorophyllpräparaten von irgend welchen Begleitstoffen des Chlorophylls her.

Nach meinen Erfahrungen muß, falls die Schwärzung eintreten soll, die Silberlösung, da sie selbst giftig wirkt und den Tod schließlich veranlaßt, langsam und in verdünnter Form in die lebende Zelle eintreten.

Sobald die Chlorophyllkörner tot sind, haben sie im Finstern ihre silberreduzierende Kraft verloren. Es mag aber mitunter vorkommen, daß sie unmittelbar nach dem Eintritt des Todes ihre Reduktionsfähigkeit noch einige Zeit behalten, dann aber sicher nur ganz kurze Zeit. Demnach kann die Schwärzung der Chlorophyllkörner durch Silbersalze im großen und ganzen, von den angeführten Ausnahmen abgesehen, als eine Lebensreaktion betrachtet werden.

Welcher Körper bewirkt die Silberreduktion?

Diese Frage ist, wie ich gleich bemerken will, derzeit mit Sicherheit nicht zu beantworten, da es sich hier um einen äußerst labilen Stoff handelt, der sein Reduktionsvermögen schon beim Absterben des Chlorophyllplasmas einbüßt.

Wenn das tote Chlorophyllkorn mit Silbernitrat die Schwärzung nicht mehr zeigt, so ist das nicht etwa so zu erklären, daß der reduzierende Körper das tote Chlorophyllkorn verläßt und sich in das Protoplasma oder in den Zellsaft begibt, denn man kann sich leicht überzeugen, daß sehr

[1] Warner, Ch. H.: Proc. Roy. Soc. Ser. B *87*, 387 (1914).

[2] Wager, H.: Ebenda, 386 (1914).

[3] Ewart, A. J.: Ebenda, B. *89*, 1 [1915].

[4] Willstätter, R. und Stoll, A.: Untersuchungen über die Assimilation der Kohlensäure. Aus dem chem. Labor. d. k. bayer. Akad. d. Wissenschaften in München. Berlin 1918, p. 379.

ownload from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentru

oft außerhalb der toten Chlorophyllkörner weder im Protoplasma noch im Zellkern, noch im Zellsaft irgend eine Spur einer Schwärzung eintritt. Der reduzierende Körper muß also im Chlorophyllkorn selbst im Momente des Todes eine Wandlung erleiden und dabei seine reduzierende Fähigkeit gegenüber dem Silbersalze einbüßen.

Loew und Bokorny[1] betrachten die Silberreduktion durch das Protoplasma als einen unumstößlichen Beweis für die Anwesenheit von Aldehydgruppen im lebenden Eiweiß und erblicken in den durch intensive Atombewegung und deshalb auch durch leichte Veränderlichkeit sich auszeichnenden Aldehydgruppen die Urquelle der lebendigen Bewegung im Protoplasma, den Tod aber in einer Verschiebung der Aldehyd- mit den Amidgruppen (p. VI).

Diese Ansicht hat manches für sich, da die Aldehydgruppen tatsächlich sehr labil sind und alkalische Silberlösungen leicht reduzieren.

Auffallenderweise geben aber weder das lebende Protoplasma, noch, wie ich hinzufügen kann, die lebenden Chlorophyllkörner die Schiff'sche Reaktion mit entfärbter Rosanilinlösung. Das Plasma nach Loew angeblich nicht, weil die schweflige Säure ein heftiges Gift sei und das Reagens bei großer Verdünnung die Rotfärbung so schwach geben würde, daß sie nicht mehr wahrgenommen werden könnte. Dem widerspricht aber die Tatsache, daß das durch Bleichen toter Chlorophyllkörner im Sonnenlichte entstehende Formaldehyd und daß andere Aldehyde in der Pflanze durch die Schiff'sche Probe sehr scharf und deutlich angezeigt werden. So färben sich die Kutikula und die verholzten Zellhäute, welche beide Aldehyde enthalten, sehr deutlich rot, wenn auch das Rosanilin nur in verdünnter Form angewendet wird.

Zudem hat neuestens Schroeder[2] durch kritische Sichtung der einschlägigen Literatur dargetan, »daß ein unbestreitbarer Nachweis von Formaldehyd in der grünen Pflanze bis heute aussteht.«

---

[1] Loew und Bokorny, l. c., p. 14.

[2] Schroeder, H.: Die Hypothesen über die chemischen Vorgänge bei der Kohlensäure-Assimilation etc. Jena 1917, p. 94.

ownload from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentru

Und Willstätter und Stoll[1] haben ganz recht, wenn sie mit Rücksicht auf den angeblichen Nachweis des Formaldehyds in den Blättern der Hainbuche durch Curtius und Franzen[2] gegen die daraus abgeleitete Schlußfolgerung, daß dadurch die Grundlage der Bayer'schen Assimilationshypothese sichergestellt sei, bemerken: »Wäre das Vorkommen von Formaldehyd in den Blättern von *Carpinus Betulus* festgestellt, so hätte dieser Nachweis in Wahrheit keine Bedeutung für die Beurteilung des Assimilationsvorganges. Der Formaldehyd kann innerhalb der Pflanze wie außerhalb ihrer Lebensvorgänge durch irgend welche Umwandlungen entstehen, die mit der Desoxydation der Kohlensäure und mit den Hauptvorgängen der Kohlehydratsynthese keinen Zusammenhang haben.«

Hingegen ist namentlich durch Curtius und Franzen der Nachweis eines flüssigen, reduzierenden, Aldehydreaktionen zeigenden Stoffes gelungen, der nur bei Gegenwart von Licht und Chlorophyll in größerer Menge auftritt.[3] Wenn also die Silberreduktion nicht gerade vom Formaldehyd stammt, so könnte sie immerhin von einem anderen Aldehyd herrühren. Ob dies im Plasma und im Chlorophyllkorn wirklich der Fall ist, wage ich nicht zu entscheiden, da noch zahlreiche andere Körper Silbernitrat zu reduzieren vermögen, allerdings nicht in so energischer Weise, wie die Aldehyde. Alkalische Silberlösungen werden ja noch nach Loew und Bokorny[4] von außerordentlich verdünnten Aldehydlösungen reduziert, nicht aber von anderen Körpern. Neutrale Silberlösung wird nach Loew nur von wenigen Körperklassen desoxydiert, so von den mehrfach hydroxylierten Benzolen und deren Derivaten, z. B. von Gerbstoffen.

[1] Willstätter, R. und Stoll, A.: Untersuchungen über die Assimilation der Kohlensäure. Aus d. chem. Laboratorium der k. bayer. Akad. d. Wissensch. in München. Berlin 1918, p. 377.

[2] Curtius, Th. und Franzen H.: Über das Vorkommen von Formaldehyd in den Pflanzen. Ber. d. deutsch. chem. Ges. *45*. (1715) [1912] u. Sitzber. d. Heidelberger Akad. d. Wissensch., math.-naturw. Kl., Jg. 1912, 7. Abh.

[3] Schroeder, H., l. c., p. 102.

[4] Loew und Pokorny, l. c., p. 12.

ownload from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentru

Kleinstück[1] zeigte vor kurzem, daß Chlorgold und Chlorsilber in alkalischer Lösung durch Wasserstoffsuperoxyd augenblicklich zu Metall reduziert werden.

Auch als er Phosgen dieser Probe unterwarf, konnte er die Gegenwart von Chlorionen feststellen; er formuliert den Reaktionsverlauf folgendermaßen:

$$CO\,Cl_2 + 2\,KOH + H_2O_2 = 2\,KCl + CH_2O + H_2O + 3\,O.$$

Es entsteht also dabei Formaldehyd. Da nun Phosgen als das Chlorid der Kohlensäure betrachtet werden muß, so schließt er auf den Vorgang der Kohlensäure-Assimilation durch die Gleichung

$$H_2CO_3 + H_2O_2 = CH_2O + H_2O + 3\,O$$

»Kohlensäure wird von der Pflanze eingeatmet,[2] das reduzierende Agens ist Wasserstoffsuperoxyd, das Reduktionsprodukt der Kohlensäure ist das Formaldehyd«.

Da Wasserstoffsuperoxyd sich in der Natur überall da bildet, wo Wasser auf großer Oberfläche verdunstet, und da das ganze Blattwerk eines Baumes auf eine große Fläche hinarbeitet, so sind nach Kleinstück die Bedingungen für die Bildung von H_2O_2 gegeben, zumal wenn das Chlorophyll in Gemeinschaft mit dem Sonnenlichte katalytische Hilfsdienste leistet.

Auch durch die Chromsäure-Ätherreaktion glaubt Kleinstück die Gegenwart von Wasserstoffsuperoxyd nachgewiesen zu haben und ist der Meinung, daß die Kohlensäurereduktion in der Pflanze durch Wasserstoffsuperoxyd bewerkstelligt wird.

Wären Kleinstück's Schlüsse richtig und bewiesen, so könnte auch die Reduktion des Silbernitrats im Chlorophyll-

[1] Kleinstück, M.: Wasserstoffsuperoxyd als Reduktionsmittel. Ber. d. deutsch. chem. Ges. 51. Jg. (1918) Nr. 1, p. 108—111.

[2] Es wäre an der Zeit, daß Ausdrücke wie »einatmen«, wenn von der Kohlensäure Assimilation die Rede ist, vermieden würden, weil bekanntlich Atmung und Kohlensäure-Assimilation zwei ganz verschiedene Vorgänge darstellen, die auch voneinander unabhängig ablaufen.

ownload from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentru

korn durch Hydroperoxyd durchgeführt werden, allein vorläufig wage ich nicht, dies bestimmt auszusprechen, da der Nachweis des H_2O_2 den Botanikern bisher nicht geglückt ist[1] und da auch die positiven Resultate Kleinstück's nicht eindeutig für H_2O_2 sprechen. Die Möglichkeit der Reduktion durch H_2O_2 muß allerdings zugegeben werden, ja wird durch die neuesten Untersuchungen von Wislicenus[2] bis zu einem gewissen Grade gestützt, obwohl er im Gegensatz zu Kleinstück nicht Formaldehyd, sondern Ameisensäure als nächstes Reduktionsprodukt der Kohlensäure annimmt. Er sagt: »Frühere Vermutungen, daß das Wasserstoffsuperoxyd sich mit Kohlensäure zu Formaldehyd und Ozon umsetze, sind nicht experimentell erforscht und unzutreffend. Dagegen steht die hier beschriebene unmittelbare (spontane) Ameisensäurebildung aus Carbonat und Hydroperoxyd, die durch lockernde katalytische Beeinflussung des Hydroperoxyds und der Kohlensäure noch beschleunigt werden kann, nunmehr fest. Dieser Tatsache ist weittragende Bedeutung insoferne beizumessen, als sie die bisher unaufgeklärte Fähigkeit der Pflanze, ohne Energieaufwand den ersten wichtigen Schritt der »Assimilation«, der Rückleitung von der anorganischen letzten Oxydationsstufe organischer Substanz in den Kreislauf der organischen Natur, aufzuklären vermag. Denn die Sauerstoffabspaltung und Reduktion zweier peroxydischer Gegenstücke, wie Kohlensäure und Hydroperoxyd, führt ohne Energiezufuhr vielmehr gerade durch den peroxydischen Energieausgleich unmittelbar auf die Stufe energetisch viel höheren Potentials, die einen Speicher in der Ameisensäure findet. Dieser Kreislauf ist durch den anderen natürlichen Oxydationsvorgang, der weitgreifenden tatsächlichen Hydroperoxydbildung und -Gegenwart in der Freiluftnatur, ohne weiteres ermöglicht« (p. 964).

Wie aus dem Vorstehenden hervorgeht, führen zwar verschiedene Erwägungen auf die Möglichkeit, daß Aldehyd-

[1] Pfeffer, W., Pflanzenphysiologie. I. Bd., p. 554. 2. Aufl. 1897.

[2] Wislicenus, H.: Die Reduktion der Kohlensäure durch Hydroperoxyd als Grundlage der pflanzlichen Assimilation. Ber. d. deutsch. chem. Ges. 51. Jg. (1918), p. 942—965.

ownload from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentru

oder Wasserstoffsuperoxyd die Ursache der Reduktion des Silbersalzes im Chlorophyllkorn sein könnten. Sicheres läßt sich aber darüber nicht sagen, da die Beweise dafür fehlen. Jedenfalls muß der Reduktor ein äußerst labiler Körper sein, da er bei dem Tode des Chlorophyllkorns schon solche Veränderungen erleidet, daß er Silbernitrat nicht mehr zu reduzieren vermag.

Auch die Frage, ob die Substanz, die im Chlorophyllkorn die Kohlensäure reduziert, identisch mit derjenigen ist, die das Silber abscheidet, bleibt vorläufig offen.

IV. Das Verhalten der Chromoplasten und Leukoplasten zum Silbernitrat.

a) Etiolinkörner.

Es ist von Interesse, zu erfahren, ob die Reduktionsfähigkeit erst mit dem Ergrünen eintritt oder ob sie schon dem im Finstern sich bildenden Vorläufer des Chlorophyllkorns, dem Etiolinkorn, eigentümlich ist.

Samen verschiedener Art wurden auf feuchtem Filtrierpapier ausgesäet und in vollständiger Finsternis keimen gelassen. Nach einiger Zeit wurden die gelben Keim- und eventuell Primordialblätter mit einprozentigem Silbernitrat auf die Reduktionsfähigkeit des Etiolinkorns gegenüber Silbernitrat im Finstern geprüft.

Die Untersuchung erstreckte sich auf: *Zea mais, Sinapis alba, Vicia sativa, Brassica oleracea, Helianthus annuus* und *Cucurbita pepo.*

Obwohl die Versuchspflanzen den verschiedensten Pflanzenfamilien angehörten und nicht besonders ausgewählt wurden, ergaben sie trotzdem ein einheitliches negatives Resultat. Die Fähigkeit, Silber abzuscheiden, fehlt den Etiolinkörnern; sie erhalten sie aber, sobald sie am Lichte ergrünt sind.

ownload from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentru

b) Chromoplasten.

Es wurden Blüten und Früchte untersucht, deren Färbung entweder ausschließlich oder vor allem durch Chromatophoren hervorgerufen wird.

Blüten:

Hemerocallis hybrida hort. Die Perigonblätter der Knospen sind grün. Die diese Farbe verursachenden Chlorophyllkörner reduzieren Silbernitrat und schwärzen sich. Nach und nach gehen die Chlorophyllkörner beim Vorschreiten der Anthese in gelbe Chromoplasten über, wodurch die gelbe Farbe der Perigonblätter zustande kommt. Auch diese Chromatophoren schwärzen sich mit Silbernitrat. Sobald aber in alternden Perigonblättern die Desorganisation der Farbstoffträger eine gewisse Höhe erreicht hat und sich aus ihnen gelbe ölige Tropfen bilden, tritt keine Schwärzung mehr ein.

Hemerocallis fulva. Die orangeroten Chromatophoren der Perigonblätter schwärzen sich nicht.

Rudbeckia laciniata. Die jungen, halbentwickelten Blumenkronblätter enthalten, wenn sie noch grünlichgelb sind, in den Epidermiszellen neben zahlreichen öligen Tröpfchen viele blaßgelbliche Chromoplasten, desgleichen in den Haaren. Nach Behandlung mit einprozentiger Silbernitratlösung färben sich alsbald die Chromoplasten der Haare intensiv schwarz, dann die der langgestreckten, über den Nerven liegenden Zellen und schließlich die der übrigen polygonalen Epidermiszellen. In der vollständig entwickelten Korolle sind die gelben Chromatophoren ganz oder zum großen Teile verschwunden und durch eine Unzahl gelber, außerordentlich kleiner Kügelchen ersetzt, die sich in Brown'scher Molekularbewegung befinden und sich mit $AgNO_3$ gewöhnlich nicht schwarz färben. Zwischen diesen kleinen Pünktchen sieht man nicht selten noch einzelne Chromoplasten erhalten und durch Silber geschwärzt.

Taraxacum officinale. Die gelbe Korolle der Zungenblüten enthält spärliche, gelbe, gewöhnliche Chromatophoren und zumeist eine Unmenge der schon bei *Rudbeckia* erwähnten gelben Kügelchen. Diese reduzieren Silbernitrat

ownload from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentru

nicht. Nebenbei sei bemerkt, daß diese gelben, in Brown'scher Bewegung befindlichen Körperchen eine bei Kompositen weit verbreitete, höchst auffallende Erscheinung darstellen.

Ranunculus bulbosus. Die intakten Chromoplasten der Blumenkronblätter reduzieren Silbernitrat, die im Zerfall begriffenen jedoch nicht.

Liriodendron tulipifera. Die Korollenblätter sind gegen die Basis mit einem großen, orangeroten Fleck versehen. Er wird durch orangerote Chromoplasten hervorgerufen, die sich mit $AgNO_3$ nicht färben.

Spartium junceum. Die gelben Blumenkronblätter verdanken ihre Farbe runden Chromoplasten. Sie reduzieren salpetersaures Silber nicht.

Ribes luteum. Die Chromoplasten der Blumenkronenblätter zeigen im Silbernitrat keine Schwärzung.

Narcissus pseudonarcissus und *Adonis vernalis* verhalten sich ebenso.

Forsythia suspensa. Die Chromoplasten der gewöhnlichen Epidermiszellen der Korollenblätter zeigen keine Schwärzung, hingegen schwärzen sich sehr schön die der Schließzellen.

Primula officinalis. Die gelben Chromoplasten scheiden Silber ab.

Früchte:

Lonicera alpigena
Lonicera xylosteum
Sorbus aucuparia
Hippophaë rhamnoides
Taxus baccata
Bryonia dioica
Lycium barbarum

} Die Chromoplasten schwärzen sich nicht.

Asparagus officinalis. Solange die Chromatophoren noch grün sind, schwärzen sie sich, nach der Rotfärbung aber reduzieren sie schwächer oder überhaupt nicht mehr.

Rosa canina. Die spindelförmigen Chromoplasten zeigen in salpetersaurem Silber eine deutliche Schwarzfärbung.

ownload from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentru

c) Leukoplasten.

Es handelt sich hier ausschließlich um solche Leukoplasten, die niemals in Chloro- oder Chromoplasten übergehen.

Campelia Zanonia. Blattepidermis. Die zahlreichen kugeligen Leukoplasten dieser Commelinee sind um den Zellkern angehäuft und schwärzen sich im Silbernitrat nicht.

Tradescantia zebrina, T. virginica, Rhoeo discolor, Coelogyne cristata, Phajus grandifolius, Haemaria discolor, (Ker.) Lindl. = *Goodyera discolor* Ker. und *Funkia* sp. verhalten sich ebenso.

Wie aus der vorstehenden Übersicht hervorgeht, zeigen die Etiolinkörner in den untersuchten Fällen niemals die Silberreduktion, wohl aber die daraus entstehenden Chlorophyllkörner. Es muß also ihr Reduktor erst im Lichte entstehen.

Die Chromoplasten der Blüten und Früchte verhalten sich verschieden. Bei gewissen Pflanzen reduzieren die Farbkörper das Silbersalz, bei anderen aber wieder nicht. Sind die Chromoplasten ursprünglich grün, so zeigen sie, soweit ich sah, die Silberabscheidung sehr deutlich, später aber, wenn sie ihre definitive, meist gelbe oder orangerote Farbe angenommen haben, können sie, aber müssen sie diese Fähigkeit nicht einbüßen.

Was schließlich die Leukoplasten anbelangt — gemeint sind die, denen die Fähigkeit, Farbstoffe zu bilden ganz abgeht — so fehlt ihnen das Schwärzungsvermögen völlig.

Diese Tatsache, zusammengehalten mit der, daß auch Etiolinkörner keine Silberreduktion aufweisen, scheint auch dafür zu sprechen, daß die Fähigkeit der Chlorophyllkörner, Kohlensäure zu assimilieren und Silber zu reduzieren vielleicht in einem Zusammenhang miteinander steht, obwohl derzeit dafür kein Beweis erbracht werden kann.

ownload from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentru

V. Zusammenfassung.

1. Die besondere Fähigkeit des Chlorophyllkorns, die Kohlensäure im Lichte zu reduzieren, ließ von vorneherein vermuten, daß dem Chlorophyllkorn reduzierende Eigenschaften auch gegenüber anderen Verbindungen zukommen dürften. Es läßt sich nun tatsächlich leicht der Beweis erbringen, daß dem so ist. Die lebenden Chlorophyllkörner der meisten Pflanzen haben nämlich das Vermögen, Silbersalze, z. B. salpetersaures Silber, in einer $^1/_4$- bis 1prozentigen Lösung geboten, im Finstern so energisch zu reduzieren, daß sie sich infolge des abgeschiedenen Silbers rasch zunächst braun und dann schwarz färben.

Chlorophyllkörner, die sehr klein und nur hellgrün gefärbt sind, wie z. B. die vieler Epidermiszellen, können auf diese Weise nach der Silberabscheidung durch ihre lokale schwarze Färbung scharf sichtbar gemacht werden.

2. Ein eigenartiges Verhalten zeigt der Chlorophyllkörper der *Spirogyra*. Der Rand des Chlorophyllbandes erscheint bekanntlich beiderseits mit zitzenartigen Auszackungen versehen. Wenn man nun frische gesunde *Spirogyra*-Fäden mit verdünnter Silbernitratlösung behandelt, so färben sich infolge der Silberabscheidung schon nach wenigen Minuten die erwähnten Auszackungen bräunlich bis kohlschwarz, während der übrige Chlorophyllkörper einschließlich der Pyrenoide und Stärkeherde zunächst oder überhaupt ungeschwärzt bleibt.

Ähnlich verhalten sich andere Algen, wie *Penium* und *Closterium*.

3. Die Erscheinung der Silberabscheidung im Chlorophyllkorn ist eine weit verbreitete; unter den untersuchten Phanerogamen finden sich keine Ausnahmen, unter den Algen verhältnismäßig viele.

4. Etiolinkörner und zeitlebens farblos bleibende Leukoplasten, wie sie in den Epidermen der Commelineen und Orchideen angetroffen werden, zeigen die Silberreduktion nicht, wohl aber können sie die Chromoplasten von Blüten und Früchten ausführen.

ownload from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentru

5. Nur das lebende Chlorophyllkorn zeigt die Silberabscheidung, das tote aber nicht. Es verhält sich daher das Stroma des Chlorophyllkörpers dem Silbernitrat gegenüber wie das Protoplasma der Zelle gegen sehr verdünnte alkalische Silberlösungen nach den bekannten Untersuchungen von O. Loew und Th. Bokorny.

6. Es muß daher ein äußerst labiler Körper sein, der im Chlorophyllkorn die Reduktion bedingt; mit dem Tode oder vielleicht auch knapp nach dem Eintritt des Todes des Chlorophyllkörpers hat sich auch der Reduktor schon soweit verändert, daß er Silbernitrat nicht mehr zu reduzieren vermag. Was für ein Körper kann es sein? Chlorophyllfarbstoff, Karotin und Xanthophyll ist es nicht. Verschiedene Erfahrungen und Erwägungen lenken die Aufmerksamkeit auf die durch ihre heftigen Atombewegungen ausgezeichneten Aldehydgruppen (Loew O.) und auf Wasserstoffsuperoxyd, aber, wenn auch die Möglichkeit zugegeben werden muß, daß diese Körper die Reduktion im Chlorophyllkorn besorgen könnten, so ist es vorläufig leider noch nicht gelungen, einen endgültigen Beweis dafür zu erbringen.

ownload from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentru

Erklärung der Tafel.

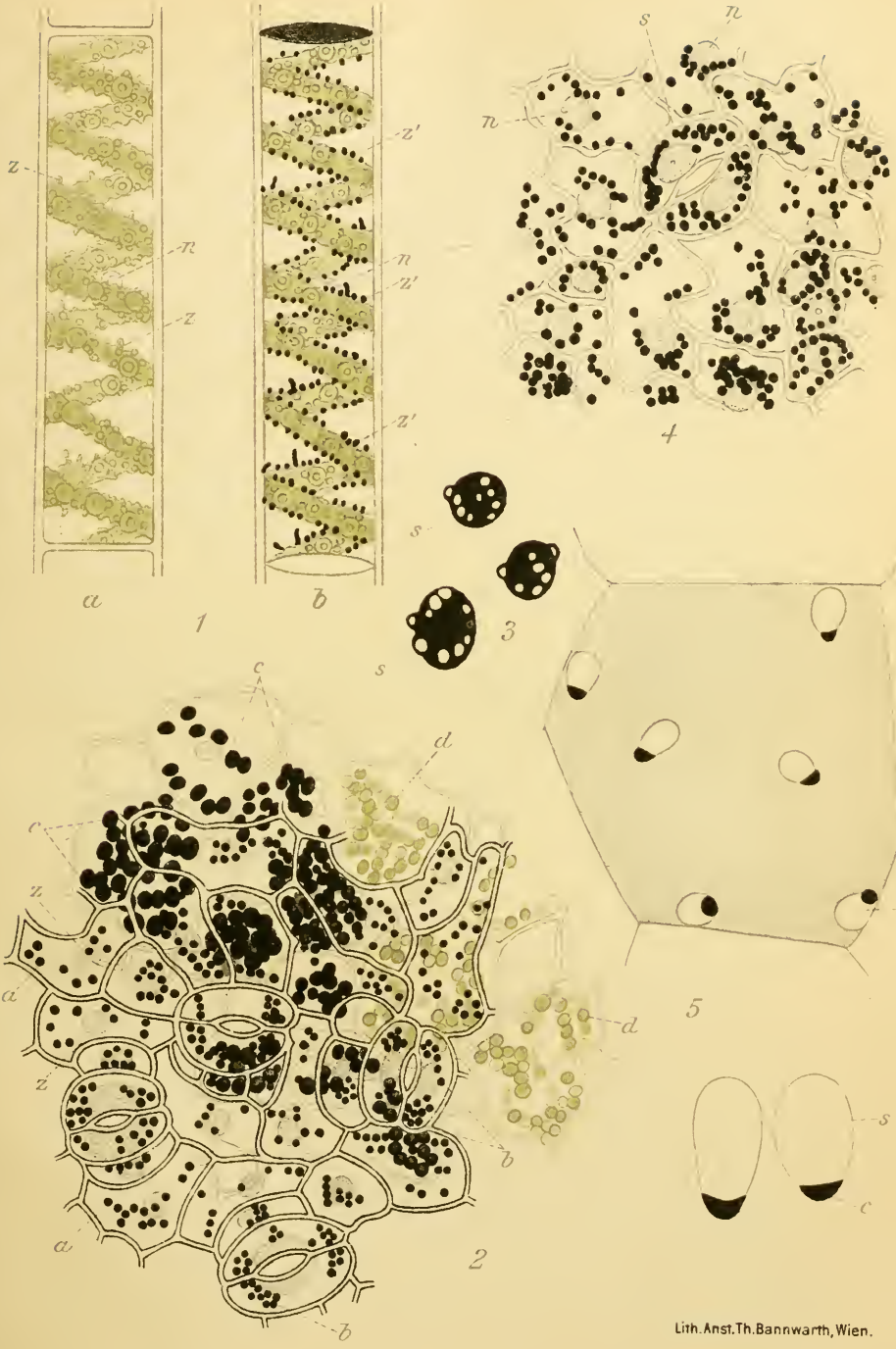
Fig. 1. *Spirogyra* sp. *a* lebend in Wasser, *n* Zellkern, *z* Zacken des Chlorophyllbandes.

b mit einprozentiger Silbernitratlösung $^1/_2$ Stunde im Finstern behandelt. Die Zacken *z'* des Chlorophyllbandes färben sich infolge der Silbernitratabscheidung schwarz, so daß zwei parallel in Schraubenlinien verlaufende Reihen von schwarzen Punkten entstehen. Die Querwand oben ist auch schwarz gefärbt. *n'* der Zellkern. Vergrößerung etwa 300.

Fig. 2. *Aucuba japonica*. Flächenschnitt durch die Blattspreite mit einprozentiger Silbernitratlösung $^1/_2$ Stunde im Finstern behandelt. Alle Chlorophyllkörner, sowohl der gewöhnlichen Epidermiszellen *a*, der Schließzellen *b* als auch der Mesophyllzellen *c* färben sich im lebenden Zustande schwarz, die toten *d* bleiben grün. Der Zellkern und der übrige Zellinhalt erscheinen farblos. Vergrößerung etwa 300.

Fig. 3. *Aucuba japonica*. 3 sehr stark vergrößerte Chlorophyllkörner aus einer lebenden Zelle des Präparates der Fig. 2 mit autochthonen Stärkekörnchen. Nur das Stroma färbt sich schwarz, die darin eingebetteten Stärkekörner *s* bleiben farblos.

Fig. 4. *Sambucus nigra*. Alle in der Epidermis befindlichen Chlorophyllkörner färben sich nach kurzer Behandlung mit einprozentiger Silbernitratlösung schwarz, auch die der Schließzellen *s*. Die Zellkerne *n* bleiben farblos. Vergrößerung etwa 300.

Fig. 5. *Pellionia Daveauana*. Eine Zelle aus dem Stengelparenchym mit 6 Stärkekörnern *s* und den damit verbundenen, blaßgrün gefärbten, kaum sichtbaren Stärkebildnern. Durch Behandlung mit einprozentigem $AgNO_3$ werden diese schwarz und dadurch sehr deutlich. Vergrößerung etwa 300. Darunter 2 Stärkekörner *s* mit den dazugehörigen Stärkebildnern *c* stark vergrößert herausgezeichnet.

ownload from The Biodiversity Heritage Library http://www.biodiversitylibrary.org/; www.biologiezentru